

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-103013

(43)Date of publication of application : 13.04.2001

(51)Int.Cl. H04B 10/17  
H04B 10/16  
H01S 3/10  
H04B 10/14  
H04B 10/06  
H04B 10/04

(21)Application number : 11-275011

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 28.09.1999

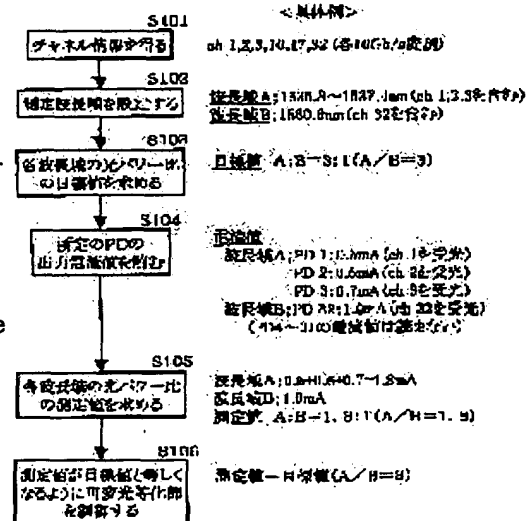
(72)Inventor : ONAKA YOSHINORI  
KINOSHITA SUSUMU

## (54) METHOD FOR MONITORING INTER-WAVELENGTH OPTICAL POWER VARIANCE, AND OPTICAL EQUALIZER AND LIGHT AMPLIFIER USING THE SAME

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an inter-wavelength optical power variance monitoring method that directly measures signal light power, without needing high wavelength resolution and detects optical power variance between channels with high accuracy, and an optical equalizer and a light amplifier which use it.

SOLUTION: This monitoring method includes a process (S101), in which channel information on WDM signal light is obtained, a process (S102) in which at least two measuring wavelength regions are set on the basis of the channel information, a process (S104) in which the channel optical power of the WDM signal light is measured only about each of the measuring wavelength regions and a process (S105) in which an optical power ratio about each of the measuring wavelength regions is calculated, by using the measured value of the optical power to decide the inter-wavelength optical power variance of the WDM signal light.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-103013  $\checkmark$

(P2001-103013A)

(43) 公開日 平成13年4月13日 (2001.4.13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-コ-ト* (参考)
H 0 4 B 10/17		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
10/16		H 0 4 B 9/00	J 5 K 0 0 2
H 0 1 S 3/10			S
H 0 4 B 10/14			
10/06			

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-275011

(22) 出願日 平成11年9月28日 (1999.9.28)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 尾中 美紀

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 木下 進

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100078330

弁理士 笹島 富二雄

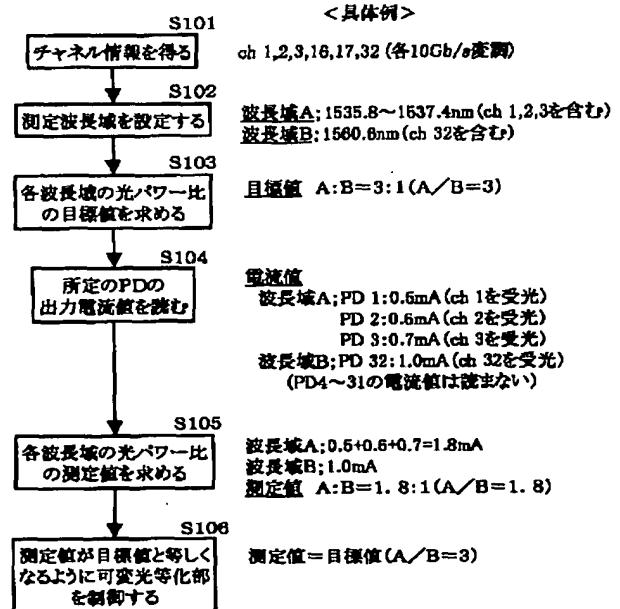
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長間光パワー偏差のモニタ方法、並びに、それを用いた光等化器および光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 高い波長分解能を必要とすることなく信号光パワーを直接測定してチャネル間の光パワーの偏差を高精度に検出する波長間光パワー偏差のモニタ方法、並びに、それを用いた光等化器および光増幅器を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明のモニタ方法は、WDM信号光に関するチャネル情報を得る過程 (S101) と、該チャネル情報に基づいて少なくとも2つの測定波長域を設定する過程 (S102) と、該各測定波長域についてののみ、WDM信号光のチャネル光パワーを測定する過程 (S104) と、該光パワーの測定値を用いて各測定波長域についての光パワー比を求め、WDM信号光の波長間光パワー偏差を判断する過程 (S105) と、を含んでなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】波長の異なる複数のチャネル光が波長多重された WDM 信号光に関するチャネル情報を得る過程と、

該チャネル情報に基づいて、少なくとも 1 つの異なるチャネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する過程と、該各測定波長域についてのみ、前記 WDM 信号光のチャネル光パワーを測定する過程と、

該光パワーの測定値を用いて前記各測定波長域についての光パワー比を求め、WDM 信号光の波長間光パワー偏差を判断する過程と、

を含んでなることを特徴とする波長間光パワー偏差のモニタ方法。

【請求項 2】請求項 1 に記載のモニタ方法であって、前記測定波長域を設定する過程は、最短波長チャネル光を含んだ第 1 測定波長域と、最長波長チャネル光を含んだ第 2 測定波長域とを少なくとも設定することを特徴とする波長間光パワー偏差のモニタ方法。

【請求項 3】請求項 1 に記載のモニタ方法であって、前記測定波長域を設定する過程は、雑音光を含む割合が最小となるように各測定波長域を設定することを特徴とする波長間光パワー偏差のモニタ方法。

【請求項 4】請求項 1 に記載のモニタ方法であって、前記チャネル情報を得る過程は、WDM 信号光に伴って伝達される監視信号光を基に、前記 WDM 信号光の各チャネル光の波長位置および伝送速度を含んだ前記チャネル情報を得ることを特徴とする波長間光パワー偏差のモニタ方法。

【請求項 5】波長の異なる複数のチャネル光が波長多重された WDM 信号光の光パワーの波長特性を等化する光等化器において、

可変の光等化特性を有し、前記 WDM 信号光が入力される可変光等化手段と、

前記 WDM 信号光についてのチャネル情報を得るチャネル情報取得手段と、

該チャネル情報取得手段で得たチャネル情報に基づいて、少なくとも 1 つの異なるチャネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する波長域設定手段と、

前記波長域設定手段で設定された各測定波長域についてのみ、前記可変光等化手段を通過した WDM 信号光のチャネル光パワーを測定する光パワー測定手段と、

前記チャネル情報取得手段で得たチャネル情報を基に、前記 WDM 信号光の光パワー波長特性を平坦にする各測定波長域についての光パワー比の目標値を求めると共に、前記光パワー測定手段の測定結果を用いて前記各測定波長域についての光パワー比の測定値を求め、該測定値が前記目標値に略等しくなるように、前記可変光等化手段の光等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されたことを特徴とする光等化器。

【請求項 6】請求項 5 に記載の光等化器であって、

前記光パワー測定手段は、前記可変光等化手段を通過した WDM 信号光の一部が入射されて回折光を発生する回折格子と、

該回折格子で回折された各チャネル光の到達位置に対応させて配置された複数の受光素子を有し、前記波長域設定手段で設定された各測定波長域に対応する前記受光素子における光パワーの測定結果を選択して前記制御手段に伝える受光部と、を含むことを特徴とする光等化器。

【請求項 7】請求項 6 に記載の光等化器であって、

前記受光部が、WDM 信号光に含まれる最大チャネル数以下で、かつ、2 個以上の受光素子を有することを特徴とする光等化器。

【請求項 8】請求項 5 に記載の光等化器であって、

前記光パワー測定手段は、前記可変光等化手段を通過した WDM 信号光の一部が入力され、前記波長域設定手段で設定された各測定波長域に応じて、通過帯域の中心波長が時間変化する可変光フィルタと、

該可変光フィルタを通過したチャネル光のパワーを測定する受光部と、

該受光部における測定結果のうちで前記波長域設定手段で設定された各測定波長域に対応するデータを選択して前記制御手段に伝える選択部と、を含むことを特徴とする光等化器。

【請求項 9】波長の異なる複数のチャネル光が波長多重された WDM 信号光を一括して増幅する光増幅手段を備えた光増幅器において、

可変の利得等化特性を有し、前記 WDM 信号光が入力される可変利得等化手段と、

前記 WDM 信号光についてのチャネル情報を得るチャネル情報取得手段と、

該チャネル情報取得手段で得たチャネル情報に基づいて、少なくとも 1 つの異なるチャネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する波長域設定手段と、

前記波長域設定手段で設定された各測定波長域についてのみ、前記可変利得等化手段を通過した WDM 信号光のチャネル光パワーを測定する光パワー測定手段と、

前記チャネル情報取得手段で得たチャネル情報を基に、前記 WDM 信号光の光パワー波長特性を平坦にする各測定波長域についての光パワー比の目標値を求めると共に、

前記光パワー測定手段の測定結果を用いて前記各測定波長域についての光パワー比の測定値を求め、該測定値が前記目標値に略等しくなるように、前記可変利得等化手段の利得等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 10】請求項 9 に記載の光増幅器であって、

前記光パワー測定手段は、前記可変利得等化手段を通過した WDM 信号光の一部が入射されて回折光を発生する回折格子と、

該回折格子で回折された各チャネル光の到達位置に対応させて配置された複数の受光素子を有し、前記波長域設

## 3

定手段で設定された各測定波長域に対応する前記受光素子における光パワーの測定結果を選択して前記制御手段に伝える受光部と、を含むことを特徴とする光増幅器。

【請求項 1 1】請求項 1 0 に記載の光増幅器であって、前記受光部が、WDM 信号光に含まれる最大チャネル数以下で、かつ、2 個以上の受光素子を有することを特徴とする光等化器。

【請求項 1 2】請求項 9 に記載の光増幅器であって、前記光パワー測定手段は、前記可変利得等化手段を通過した WDM 信号光の一部が入力され、前記波長域設定手段で設定された各測定波長域に応じて、通過帯域の中心波長が時間変化する可変光フィルタと、  
10 該可変光フィルタを通過したチャネル光の光パワーを測定する受光部と、  
該受光部における測定結果のうちで前記波長域設定手段で設定された各測定波長域に対応するデータを選択して前記制御手段に伝える選択部と、を含むことを特徴とする光増幅器。

【請求項 1 3】波長の異なる複数のチャネル光が波長多重された WDM 信号光を少なくとも 2 つの増幅波長帯に分波する分波手段と、該分波手段で分波された各増幅波長帯の光信号をそれぞれ増幅する少なくとも 2 つの光増幅手段と、該各光増幅手段で増幅された各光信号を合波する合波手段とを備えた光増幅器において、  
20 可変の利得等化特性を有し、前記分波手段の入力側前段に設けられる可変利得等化手段と、  
前記 WDM 信号光についてのチャネル情報を得るチャネル情報取得手段と、  
前記各光増幅手段に入力される各増幅波長帯の光信号の一部を入力して、各光増幅手段へのトータル入力パワーをそれぞれ測定する入力パワー測定手段と、  
30 前記チャネル情報取得手段で得たチャネル情報を基に、前記 WDM 信号光の光パワー波長特性を平坦にする各光増幅手段についてのトータル入力パワー比の目標値を求めると共に、前記入力パワー測定手段の測定結果を用いて前記各光増幅手段についてのトータル入力パワー比の測定値を求め、該測定値が前記目標値に略等しくなるように、前記可変利得等化手段の利得等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されたことを特徴とする光増幅器。

【請求項 1 4】請求項 1 3 に記載の光増幅器において、前記増幅波長帯は、1550 nm 帯および 1580 nm 帯の波長帯を含むことを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、各種の光通信において利用される波長多重 (WDM) 信号光の光パワーの波長特性を簡易な手法で、かつ、精度良くモニタする波長間光パワー偏差のモニタ方法、並びに、そのモニタ方法を用いて WDM 信号光の光パワーの波長特性の等化処

## 4

理を制御するようにした光等化器および光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信において、複数の波長の光を 1 本の光ファイバで伝送することにより通信容量を増大する波長多重 (WDM) 伝送方式の研究開発が活発化している。この WDM 伝送方式は、既存の光ファイバを利用できるため、導入コストが低いこと、また、広い増幅帯域を有する光増幅器を用いることで伝送路はビットレートフリーとなり将来のアップグレードが容易であるなどの利点があり、将来のマルチメディア社会を実現する手段として期待されている。

【0003】一般に、光増幅器を用いた WDM 光通信システムにおいては、所定の伝送特性を得るために、各増幅中継段において各チャネル間の光パワーの偏差 (チルト) を数 dB 以下に抑えて伝送する必要がある。これは、伝送可能な光パワーの上限が光伝送路の非線形効果による波形劣化により制限され、下限が受信 S/N の劣化により制限されるためである。

【0004】しかし、光ファイバ伝送路では、非線形効果のひとつである誘導ラマン散乱 (stimulated Raman scattering) やレイリー散乱によって、その損失に波長特性が生じることが知られている。特に、誘導ラマン散乱による損失波長特性は、光伝送路の長さ、チャネル数 (信号光の波長数)、チャネル間隔 (信号光の波長間隔)、光パワーレベル等といった様々な伝送条件に応じて、その大きさが異なって発生する。一般的に、WDM 光伝送システムにおけるチャネル数や使用波長は、システム利用者によって適宜に設定可能とされるため、それらの値が常時一定であるとは限らない。例えば光波ネットワーク等においては、光 ADM (Optical Add and Drop Multiplexer) 装置に入力される信号光の数や波長位置がダイナミックに変化するため、大きさの異なる損失波長特性が光伝送路に発生してしまい、これによって、  
30 伝送特性への影響が深刻な問題になる。

【0005】また、各種の光通信システムを構成する光増幅器および分散補償器等についても、利得および損失に波長特性を有することが知られており、これらの利得および損失の波長特性によって、各チャネル間の光パワーに偏差が生じて伝送特性に大きな影響を及ぼすことが問題になる。

【0006】そこで、WDM 光通信システムで生じる各チャネル間の光パワーの偏差をモニタ (監視) して、この偏差を低減する対策を施すことが要求される。これに対して本発明者は、例えば、WDM 光通信システムに能動的な利得等化器を適用し、各チャネル間の光パワーの偏差のモニタ値が小さくなるように、前記利得等化器の特性を制御する技術を提案している (特願平 11-54374 号、特願平 11-115971 号等参照)。

【0007】上記の先願発明にも適用されている、チャ

## 5

ネル間の光パワーの偏差をモニタする従来のモニタ方法としては、例えば、光増幅器が発生する自然放出 (ASE) 光を基にチャンネル間の光パワーの偏差を算出する方法がある (特願平 11-054374 号参照)。この方法では、信号光帯域の近傍における自然放出光パワーがモニタされるため、入力する信号数やチャンネルの変動に依存することなくチャンネル間の光パワーのばらつきをモニタできる。また、例えば、一般的な光スペクトルアナライザ等を用いて各チャンネルの光パワーを直接測定し、チャンネル間の光パワーの偏差を算出する方法も知られている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の波長間光パワー偏差のモニタ方法のうちの自然放出光を利用したモニタ方法については、信号光自体を直接モニタするのではなく自然放出光をモニタするという間接的な方法であるため、モニタ誤差が生じる虞があった。また、光スペクトルアナライザ等を用いて各信号光パワーを直接測定するモニタ方法については、例えば、信号光帯域に最も密に信号光が入力した場合においても、各信号光パワーを正確に測定できなければならないため、優れた波長分解能を有する高性能な光スペクトルアナライザ等を使用して信号光パワーの測定を行う必要がある。したがって、このモニタ方法を適用した装置にあっては、コストの上昇およびサイズの大型化を招いてしまうという問題があった。

【0009】本発明は上記の点に着目してなされたもので、高い波長分解能を必要とすることなく信号光パワーを直接測定して、チャンネル間の光パワーの偏差を高精度に検出するモニタ方法、並びに、そのモニタ方法を適用して小型化および低価格化を図った光等化器および光増幅器を提供することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明による波長間光パワー偏差のモニタ方法は、波長の異なる複数のチャンネル光が波長多重された WDM 信号光に関するチャンネル情報を得る過程と、該チャンネル情報に基づいて、少なくとも 1 つの異なるチャンネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する過程と、該各測定波長域についてのみ、WDM 信号光のチャンネル光パワーを測定する過程と、該光パワーの測定値を用いて各測定波長域についての光パワー比を求め、WDM 信号光の波長間光パワー偏差を判断する過程と、を含んでなる方法である。

【0011】かかるモニタ方法によれば、WDM 信号光に含まれる各チャンネル光の波長位置や伝送速度等に関するチャンネル情報に基づいて、光パワーの測定に適した少なくとも 2 つの測定波長域が設定され、該各測定波長域に限ってチャンネル光パワーが測定されて、その測定結果を基に各測定波長域についての光パワー比から波長間光

## 6

パワー偏差が判断されるようになる。これにより、比較的低い波長分解能でも信号光パワーを直接測定しながら高い精度で WDM 信号光パワーの波長特性をモニタできる。

【0012】なお、少なくとも 1 つの異なるチャンネル光を含んだ複数の測定波長域については、各測定波長域が 1 つのチャンネル光をそれぞれ有し、各々のチャンネル光が相互に異なる場合と、各測定波長域が複数のチャンネル光をそれぞれ有し、該複数のチャンネル光のうちの少なくとも 1 つが相互に異なる場合とが可能であり、また、それら 2 つの場合を組み合わせた複数の測定波長域とすることも可能である。

【0013】上記のモニタ方法について、測定波長域を設定する過程は、入力チャンネルのうちの最短波長チャンネル光を含んだ第 1 測定波長域と、最長波長チャンネル光を含んだ第 2 測定波長域とを少なくとも設定するようにしてもよい。また、雑音光を含む割合が最小となるように各測定波長域を設定するのが望ましい。このようにすることで、各チャンネル光の光パワー偏差の測定精度を向上させることが可能になる。

【0014】さらに、チャンネル情報を得る過程は、具体的には、WDM 信号光に伴なって伝達される監視信号光を基に、WDM 信号光の各チャンネル光の波長位置および伝送速度を含んだチャンネル情報を得るようにしてもよい。

【0015】本発明による光等化器は、波長の異なる複数のチャンネル光が波長多重された WDM 信号光の光パワーの波長特性を等化する光等化器において、可変の光等化特性を有し、WDM 信号光が入力される可変光等化手段と、WDM 信号光についてのチャンネル情報を得るチャンネル情報取得手段と、該チャンネル情報取得手段で得たチャンネル情報に基づいて、少なくとも 1 つの異なるチャンネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する波長域設定手段と、波長域設定手段で設定された各測定波長域についてのみ、可変光等化手段を通過した WDM 信号光のチャンネル光パワーを測定する光パワー測定手段と、チャンネル情報取得手段で得たチャンネル情報を基に、WDM 信号光の光パワー波長特性を平坦にする各測定波長域についての光パワー比の目標値を求めると共に、光パワー測定手段の測定結果を用いて各測定波長域についての光パワー比の測定値を求め、該測定値が目標値に略等しくなるように、可変光等化手段の光等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されるものである。

【0016】また、本発明による光増幅器の一態様は、波長の異なる複数のチャンネル光が波長多重された WDM 信号光を一括して増幅する光増幅手段を備えた光増幅器において、可変の利得等化特性を有し、WDM 信号光が入力される可変利得等化手段と、WDM 信号光についてのチャンネル情報を得るチャンネル情報取得手段と、該チャンネル情報取得手段で得たチャンネル情報に基づいて、少な

## 7

くとも1つの異なるチャネル光を含んだ複数の測定波長域を設定する波長域設定手段と、波長域設定手段で設定された各測定波長域についてのみ、可変利得等化手段を通過したWDM信号光のチャネル光パワーを測定する光パワー測定手段と、チャネル情報取得手段で得たチャネル情報を基に、WDM信号光の光パワー波長特性を平坦にする各測定波長域についての光パワー比の目標値を求めると共に、光パワー測定手段の測定結果を用いて各測定波長域についての光パワー比の測定値を求め、該測定値が目標値に略等しくなるように、可変利得等化手段の利得等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されるものである。

【0017】かかる構成の光等化器または光増幅器では、前述した本発明によるモニタ方法がチャネル情報取得手段、波長域設定手段、光パワー測定手段および制御手段のそれぞれの動作によって実現され、そのモニタ結果に応じて可変光等化手段または可変利得等化手段の等化特性がフィードバック制御されるようになる。これにより、WDM信号光の光パワー波長特性の等化处理を確実に行うことのできる小型で安価な光等化器または光増幅器を提供することが可能になる。

【0018】さらに、上記光等化器または光増幅器の具体的な構成として、光パワー測定手段は、可変光等化手段を通過したWDM信号光の一部が入射されて回折光を発生する回折格子と、該回折格子で回折された各チャネル光の到達位置に対応させて配置された複数の受光素子を有し、波長域設定手段で設定された各測定波長域に対応する受光素子における光パワーの測定結果を選択して制御手段に伝える受光部と、を含むようにしてもよい。加えて、前記受光部は、WDM信号光に含まれる最大チャネル数以下で、かつ、2個以上の受光素子を有することが可能である。

【0019】かかる構成の光パワー測定手段では、回折格子による光の回折を利用して、各チャネル光パワーが対応する受光素子ごとに測定され、各々の測定波長域に対応する受光素子の測定結果が選択的に制御手段に伝えられるようになる。

【0020】あるいは、光パワー測定手段の他の具体的な構成としては、可変光等化手段を通過したWDM信号光の一部が入力され、波長域設定手段で設定された各測定波長域に応じて、通過帯域の中心波長が時間変化する可変光フィルタと、該可変光フィルタを通過したチャネル光のパワーを測定する受光部と、該受光部における測定結果のうちで波長域設定手段で設定された各測定波長域に対応するデータを選択して制御手段に伝える選択部と、を含むようにしてもよい。

【0021】かかる構成の光パワー測定手段では、可変光フィルタの通過帯域の時間変化に応じて、各チャネル光のパワーが受光部で測定され、可変光フィルタの通過帯域が測定波長域に対応した時の受光素子の測定結果が

## 8

選択的に制御手段に伝えられるようになる。

【0022】また、本発明による光増幅器の他の態様としては、波長の異なる複数のチャネル光が波長多重されたWDM信号光を少なくとも2つの増幅波長帯に分波する分波手段と、該分波手段で分波された各増幅波長帯の光信号をそれぞれ増幅する少なくとも2つの光増幅手段と、該各光増幅手段で増幅された各光信号を合波する合波手段とを備えた光増幅器において、可変の利得等化特性を有し、分波手段の入力側前段に設けられる可変利得等化手段と、WDM信号光についてのチャネル情報を得るチャネル情報取得手段と、各光増幅手段に入力される各増幅波長帯の光信号の一部を入力して、各光増幅手段へのトータル入力パワーをそれぞれ測定する入力パワー測定手段と、チャネル情報取得手段で得たチャネル情報を基に、WDM信号光の光パワー波長特性を平坦にする各光増幅手段についてのトータル入力パワー比の目標値を求めると共に、入力パワー測定手段の測定結果を用いて前記各光増幅手段についてのトータル入力パワー比の測定値を求め、該測定値が目標値に略等しくなるように、可変利得等化手段の利得等化特性を制御する制御手段と、を含んで構成されるものである。

【0023】かかる構成の光増幅器では、広い信号光帯域を有するWDM信号光が可変利得等化手段を介して分波手段に送られて複数の増幅波長帯に分波される。分波された各増幅波長帯の光信号は、対応する光増幅手段でそれぞれ増幅された後に合波手段によって合波される。このとき、各光増幅手段に入力される各々の光信号の一部が入力パワー測定手段にそれぞれ送られてトータル入力パワーがモニタされ、そのモニタ結果に応じて、入力側に設けた可変利得等化手段の利得等化特性が制御手段によりフィードバック制御されるようになる。この場合、各増幅波長帯は上述のモニタ方法の各測定波長域に相当し、チャネル情報取得手段、入力パワー測定手段および制御手段のそれぞれの動作によって本発明によるモニタ方法が実現される。これにより、増幅波長帯の異なる各光増幅手段への入力光のチルトを簡易なモニタ方法を用いて確実に補償することができるようになる。この構成のポイントは2つある。第1のポイントは、光増幅手段の入力側でチルトを補償するので、伝送光パワーが劣化しているチャネルの雑音指数を救済するため、光増幅器のチルト補償だけでなく雑音指数の波長特性を抑えて、光SNRにも有利に働くことである。第2のポイントは、通常的光増幅器には、入力パワーをモニタする機能が既に適用されており、入力光の一部を分岐して該分岐光パワーをフォトダイオードで受光する構成になっている。本モニタ方法はこれを利用するので、新たな光部品の挿入は必要ないという点である。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は、本発明による波長間光パワ

一偏差のモニタ方法が適用された第1実施形態としての光等化器について、その基本構成を示すブロック図である。

【0025】図1において、本光等化器は、可変光等化手段としての可変光等化部1と、モニタ部2と、チャンネル情報取得手段としての監視信号処理部3と、を備えて構成される。

【0026】可変光等化部1は、光伝送路Lを伝搬する主信号光(WDM信号光)が入力され、該入力光パワーの波長に対する偏差(チルト)を可変の透過(または光フィルタ)特性に従って平坦化して出力する。この可変光等化部1としては、例えば、音響光学効果や磁気光学効果を利用した可変の通過波長特性を有する光フィルタ(特願平11-54374号参照)を利用してもよい。また、例えば、ラマン増幅を利用して光パワーの波長特性を補償する技術(特願平11-115971号参照)を利用することも可能である。なお、本発明で用いる可変光等化部1は上記の構成に限定されるものではなく公知の光等化器を用いることができる。

【0027】モニタ部2は、可変光等化部1から出力されたWDM信号光の一部を分岐して、本発明のモニタ方法により光パワー偏差を測定し、その測定結果を基に可変光等化部1の特性を制御する。

【0028】監視信号処理部3は、WDM信号光と共に伝送される監視信号光からチャンネル情報を抽出してモニタ部2に伝える。このチャンネル情報は、WDM信号光に含まれる各チャンネルの波長位置およびビットレート(伝送速度)に関する情報を示すものである。

【0029】ここで、本発明のモニタ方法を実現するモニタ部2の構成について詳しく説明する。図2は、モニタ部2の具体的な構成例を示すブロック図である。

【0030】図2に示すモニタ部2は、例えば、光パワー測定手段としての光パワー測定部20、波長域設定手段としての測定波長域設定部21および制御手段としての演算処理部22を有する。

【0031】光パワー測定部20は、可変光等化部1からモニタ部2に入力されるWDM信号光の一部をモニタ入力光として、測定波長域設定部21からの出力信号により指定された測定波長域についての光パワーを測定し、該測定結果を演算処理部22に出力する。この光パワー測定部20の具体的な構成としては、例えば、文献「K.Otsuka et al., "A High-Performance Optical Spectrum Monitor with High-Speed Measuring Time for WDM Optical Networks," ECOC'97, Vol.2, pp.147-150 (1997)」のFigure.1に記載された光学系などを応用するのが好適である。ここでは、その概要について簡単に説明する。

【0032】図3は、上記文献の光学系を適用して構成した光パワー測定部20の具体例を示す図である。図3に示す光パワー測定部20は、偏光補償板20A、第1

レンズ20B、回折格子20C、第2レンズ20D、平面ミラー20EおよびPDアレイモジュール20F(受光部)を備え、これらの各光部品がいわゆるツエルニータナーマウンティング(Czerny-Turner mounting)方法に従って配置された構成である。具体的には、入力光ファイバの一端から出射されたモニタ入力光が、偏光補償板20Aおよび第1レンズ20Bを介して回折格子20Cに送られ回折されて、さらに、その回折光は第2レンズ20Dを介して平面ミラー20Eに送られ反射された後に、PDアレイモジュール20Fによって受光される。

【0033】PDアレイモジュール20Fは、例えば、モニタ入力光に含まれる複数のチャンネル光の各波長にそれぞれ対応した複数の受光素子(PD)を有し、各PDの受光面が1平面内の所定位置に配列されている。ここでは、主信号光が最大32チャンネルの光信号を含む場合を想定して、32個のPDがPDアレイモジュール20F内に設けられ、各PDが波長に応じて回折された各チャンネル光の到達位置にそれぞれ対応させて配置される例を示す。

【0034】図4は、各PDの相対的な出力特性を波長に対応させて模式的に示した図である。図4のように、32個のPD1~PD32は、チャンネル1~チャンネル32の各波長を中心とする一定の波長範囲の光信号に対して略等しい出力電流をそれぞれ発生する。なお、上記一定の波長範囲は、各PDの配置および受光面の大きさに応じて決まるものであり、各PDに固有の受光波長に対応するものではない。各PDの受光波長としては、少なくとも対応するチャンネル光の波長を含む範囲が必要があり、実用的には、32チャンネルの光信号のすべての波長範囲に亘る受光波長を有するようにして、各々のPDに同じものを用いることが可能である。

【0035】回折格子20Cは、断面が鋸歯状をした複数の溝を表面に有する、例えばホログラフィックブレードタイプ(holographic blazed type)等の回折格子である。偏光補償板20Aは、2つの複屈折楔から構成され、モニタ入力光を2つの直交する直線偏光成分に分離する。この偏光補償板20Aを設けることで、回折格子20Cの偏光依存性が排除される。このような光学系により、モニタ入力光に含まれる各チャンネル光は、各々の波長に応じて回折されてPDアレイモジュール20Fの所定の位置に到達し、波長に対応したPDで電流にそれぞれ変換される。各PDの出力電流値は、測定波長域設定部21からの制御信号により指定された波長域に対応するものだけが選択されて演算処理部22に送られる。

【0036】測定波長域設定部21は、監視信号処理部3からモニタ部2に入力されるチャンネル情報を基に、光パワーを測定するのに最適な少なくとも2つの波長域を設定し、それらの測定波長域を指示する制御信号を光パ

ワ測定部 20 に伝える。なお、測定波長域の設定方法については後述する。

【0037】演算処理部 22 は、測定波長域設定部 21 からの制御信号に応じて設定された測定波長域についての光パワー比の目標値を求めると共に、光パワー測定部 20 からの出力電流値を用いて各測定波長域についての実際の光パワーの比を演算する。そして、光パワー比の測定値が目標比に等しくなるように可変光等化器 1 の特性を調整する制御信号を生成して、該制御信号を可変光等化器 1 に出力する。

【0038】次に、上記のような構成の光等化器の動作を図 5 を用いて具体的に説明する。本光等化器では、まず、図 5 のフローチャートのステップ 101 (図中 S101 で示し、以下同様とする) において、監視信号光により伝達されるチャンネル情報の抽出が監視信号処理部 3 で行われ、得られたチャンネル情報がモニタ部 2 に伝えられる。ここでは、チャンネル情報の具体的な一例として、伝送路 L を伝わる WDM 信号光に含まれる各チャンネルの番号が 1, 2, 3, 16, 17, 32 であり、各チャンネル光のビットレートがそれぞれ 10 Gb/s である場合を想定して、以下の説明を行うものとする。なお、チャンネル 1~32 は、いわゆる 1550 nm 帯に所定の波長間隔で配置されている。また、ビットレートに対応して各チャンネルに必要な光パワーが定まるものとし、上記のように各チャンネルのビットレートが同じである場合には、すべてのチャンネルの光パワーを略等しく制御することが求められる。

【0039】チャンネル情報の抽出が終了するとステップ 102 に進み、モニタ部 2 の測定波長域設定部 21 において、チャンネル情報を基に、光パワーを測定するのに適した測定波長域の設定が行われる。ここでは、例えば、2 つの測定波長域 A, B が設定されるものとする。測定波長域 A としては、短波長側のチャンネル 1, 2, 3 を含んだ波長 1535.8~1537.4 nm が設定され、測定波長域 B としては、長波長側のチャンネル 32 を含んだ波長 1560.6 nm が設定される。そして、設定された測定波長域 A, B を示す制御信号が測定波長域設定部 21 から光パワー測定部 20 および演算処理部 22 に伝えられる。

【0040】測定波長域の設定を行うときに留意すべき点としては、第 1 に、使用されるチャンネルのうちの最短波長チャンネルを含んだ波長域 (第 1 測定波長域) および最長波長チャンネルを含んだ波長域 (第 2 測定波長域) を優先的に設定することが挙げられる。これは、各チャンネル間の光パワーのばらつきは波長範囲が広がるほど大きくなる傾向があるので、光パワーをモニタする 2 つの波長域の波長間隔をより広くすることで測定の精度を向上させることが可能になるためである。具体的には、上記の一例において、1550 nm 帯の中間に位置するチャンネル 16, 17 を含んだ波長域 (以下、波長域 C とす

る) を測定波長域 A, B のいずれかに代えて設定することは測定精度を低下させる可能性がある。ただし、3 つの測定波長域 A, B, C を設定した場合には、2 つの測定波長域 A, B を設定した場合よりも測定精度は向上するものと考えられる。このように、本発明では、チャンネル情報に応じて、最短波長チャンネルおよび最長波長チャンネルをそれぞれ含んだ少なくとも 2 つの測定波長域を設定することが必要である。

【0041】また、第 2 に、雑音光を極力含まない波長域を設定することが挙げられる。これは、例えば本光等化器が用いられるシステムに適用された光増幅器で発生する広い帯域を持った自然放光 (雑音光) 等によって、信号光パワーの測定に誤差が生じることを防ぐためである。具体的には、上記の一例において、隣接する使用チャンネル 1, 2, 3 の波長範囲に限って測定波長域 A を設定することにより、使用されていないチャンネル (例えばチャンネル 4, 5 等) まで波長域を広げた場合に比べて、雑音光の影響を低減させることが可能である。なお、測定波長域 A について、最短波長のチャンネル 1 だけでなくチャンネル 2, 3 を含むようにしたのは、隣接する使用チャンネルをより多く含む方が信号光パワーの測定精度をより高くできるためである。

【0042】なお、ステップ 102 において設定される 2 つの測定波長域が、予め設定した波長帯域よりも狭い帯域内にある場合、もしくは、設定可能な測定波長域が 1 つしか存在しない場合には、以下に示すステップ 103 以降の処理を行わずに可変光等化部 1 の制御を中断するようにしてもよい。これは、使用チャンネル間の波長差が僅かであるので各チャンネル間で生じる光パワーのばらつきが小さく、そのような光パワーのばらつきまでを等化する必要はないと判断できるためである。このようにすることで光等化器の制御を効率的に行うことが可能になる。

【0043】次に、ステップ 103 では、演算処理部 22 において、各測定波長域 A, B についての光パワー比の目標値が求められる。ここでは、前述したように各チャンネルのビットレートが同じであり各チャンネルの光パワーをすべて同じ値となるように制御すればよいと、光パワー比の目標値は、各測定波長域 A, B に含まれるチャンネル数に対応させて求めることができる。すなわち、測定波長域 A に含まれるチャンネル数は 3 であり、測定波長域 B に含まれるチャンネル数は 1 であるため、目標値となる光パワー比は、 $A : B = 3 : 1$  ( $A/B = 3$ ) となる。

【0044】目標値の演算が終了するか、または、目標値の演算と並行して、ステップ 104 では、各測定波長域 A, B にそれぞれ対応する PD の出力電流値の読み取りが行われる。具体的には、測定波長域設定部 21 からの制御信号を受けた光パワー測定部 20 が、測定波長域 A についてチャンネル 1~チャンネル 3 に対応する PD 1~

PD 3 の各出力電流値、測定波長 B についてチャネル 3 2 に対応する PD 3 2 の出力電流値をそれぞれ演算処理部 2 2 に出力する。ここでは、例えば、PD 1 の出力電流値が 0.5 mA、PD 2 の出力電流値が 0.6 mA、PD 3 の出力電流値が 0.7 mA および PD 3 2 の出力電流値が 1.0 mA となったものとする。

【0045】そして、ステップ 105 では、光パワー測定部 20 からのモニタ値を受けた演算処理部 22 において、各測定波長域 A、B についての光パワー比の測定値が求められる。この測定値の演算は、各測定波長域に対応する各々の PD の出力電流値を加算し、該加算値の比を求めることにより行われる。上記のような各 PD の出力電流値が得られた場合、測定波長域 A については各 PD 1 ~ PD 3 の出力電流の加算値が 1.8 mA となり、測定波長域 B については PD 3 2 の出力電流値が 1.0 mA であるため、測定値となる光パワー比は、 $A : B = 1.8 : 1$  ( $A/B = 1.8$ ) となる。

【0046】測定値の演算が終了すると、ステップ 106 に進み、各測定波長域 A、B の光パワー比の測定値がステップ 103 で求めた目標値と等しくなるように、可変光等化部 1 の特性を調整する制御信号が演算処理部 22 で生成され光等化部 1 に送られる。これにより、光伝送路 L 等で発生する各チャネル間の光パワーの偏差が本光等化器によって確実に等化されるようになる。

【0047】このように第 1 実施形態によれば、チャネル情報に基づいて、光パワーの測定に適した少なくとも 2 つの測定波長域を設定し、WDM 信号光に含まれる各チャネルの光パワーの偏差をモニタするようにしたこと、比較的低い波長分解能により信号光パワーを直接測定しながら高い精度でチルトをモニタできるようになるため、簡略な構成で安価なモニタ部 2 を備えた光等化器を提供することが可能になる。

【0048】次に、本発明の第 2 実施形態に係る光等化器のについて説明する。第 2 実施形態では、上記第 1 実施形態の光等化器について、光パワー測定部 20 の構成をより簡略なものとして小型化を図った場合を考える。具体的には、第 1 実施形態の場合に、光パワー測定部 20 の PD アレイモジュール 20F が 32 チャネルの各信号光波長に対応して 32 個の PD を備えるものとしたが、第 2 実施形態では、個々の PD が受光する波長間隔が各チャネルの波長間隔よりも荒くなるようにすることで、チャネル数よりも少ない数の PD を PD アレイモジュールが備えるようにしたものである。

【0049】図 6 は、第 2 実施形態で用いられる PD アレイモジュールについて、各 PD の相対的な出力特性を波長に対応させて模式的に示した図である。なお、この PD アレイモジュールを用いて構成される光パワー測定部の構成は、上述の図 3 に示した場合と同様である。

【0050】図 6 に示すように、第 2 実施形態で用いられる PD アレイモジュールには、例えば 32 チャネルの

信号光に対して 16 個の PD 1 ~ PD 16 が設けられる。ここでは、各 PD の受光面がモニタ入力光の回折方向に沿って連続し、回折された奇数チャネルの信号光が各 PD の受光面の中央部分に到達し、偶数チャネルの信号光が隣接する PD の境界部分に到達するように、各 PD 1 ~ PD 16 が所定位置に配置されている。このような配置では、例えば、チャネル 1、2 の各信号光が PD 1 で受光され、チャネル 2、3、4 の各信号光が PD 2 で受光され、以降同様に、チャネル 30、31、32 の各信号光が PD 16 で受光されるようになる。

【0051】上記のような PD アレイモジュールが適用された光等化器の動作を図 7 を用いて説明する。図 7 において、本光等化器の基本的な動作を示すフローチャートは、上述の図 5 に示した場合と同様である。ただし、PD アレイモジュールの PD 数の減少に伴って、具体例における、ステップ 103 での目標値の演算方法、ステップ 104 での出力電流値の読み取りが行われる PD およびステップ 105 での測定値の演算方法について、それぞれ差異が生じる。

【0052】すなわち、第 1 実施形態の場合と同様の具体例の設定において、ステップ 103 で目標値を求める場合、測定波長域 A に含まれるチャネル数は 3 であるが、チャネル 2 については PD 1 および PD 2 の両方で受光され、図 6 に示したように各 PD 1、PD 2 で略等しい出力が発生するため、各測定波長域 A、B の光パワー比の目標値は、 $A : B = 4 : 1$  ( $A/B = 4$ ) となる。

【0053】また、ステップ 104 では、各測定波長域 A、B に対応させて、PD 1、PD 2 および PD 16 の各出力電流値の読み取りが行われる。ここでは、例えば、PD 1 の出力電流値が 0.5 mA、PD 2 の出力電流値が 0.6 mA および PD 16 の出力電流値が 1.0 mA となったものとする。

【0054】さらに、ステップ 105 では、各測定波長域 A、B についての光パワー比の測定値が求められ、ここでは、測定波長域 A についての PD 1、2 の出力電流の加算値が 1.8 mA となり、測定波長域 B についての PD 16 の出力電流値が 1.0 mA であるため、光パワー比の測定値は、 $A : B = 1.8 : 1$  ( $A/B = 1.8$ ) となる。そして、この測定値が目標値 ( $A/B = 4$ ) に等しくなるように、ステップ 106 で可変光等化部 1 が制御される。

【0055】このように第 2 実施形態によれば、光パワー測定部 20 の PD アレイモジュールの構成として、WDM 信号光の最大チャネル数よりも少ない数の PD を設けるようにしても、第 1 実施形態の場合と同様の効果を得ることができる。したがって、モニタ部 2 の構成をより簡略なものにでき、光等化器の一層の小型化および低価格化を図ることが可能になる。

【0056】なお、上記の第 2 実施形態では、32 チャ

ネルのWDM信号光に対して16個のPDを設ける場合を説明したが、本発明はこれに限らず、上記の場合と同様の考え方に従ってさらにPDの数を減らす応用も可能である。チルトモニタに要求される精度等に依存するが、最終的には、短波長側および長波長側の2つのPDを設けるだけでも本発明の効果をj得ることは可能である。

【0057】また、図6に示したように、各チャンネルに対する各々のPDの相対出力が略等しくなるように16個のPDを配置する場合を示したが、例えば、図8

(A)に示すように、奇数チャンネルに対する各PDの相対出力が0dBとなり、偶数チャンネルに対する各PDの相対出力が-3dB等となるような配置とすることも可能である。この場合、上記と同様の具体例についての光パワー比の目標値は、次のようにして演算すればよい。偶数チャンネルの相対出力が-3dBということは、各PDで受光される偶数チャンネルの光パワーが奇数チャンネルの光パワーの1/2倍になることを意味する。このため、測定波長域Aについて、PD1ではチャンネル1に対する出力値を1としてチャンネル2に対する出力値が0.5となり、また、PD2ではチャンネル2に対する出力値が0.5、チャンネル3に対する出力値が1となる。一方、測定波長域Bについては、PD16でチャンネル16に対する出力値が0.5となる。したがって、光パワー比の目標値は、 $A : B = (1 + 0.5 + 0.5 + 1) : 0.5 = 3 : 0.5 = 6 : 1$ になる。

【0058】さらに、光等化器の小型化と低コスト化を目指して、図8(A)に示した場合よりもさらに少ないPDを用いてPDアレイモジュールを構成することも可能である。図8(B)はその一例を示すものである。

【0059】図8(B)では、広い波長域の受光感度を有したPDが適用され、複数の波長の信号光が1つのPDで受光されると共に、各PDとも受光感度が最大になるポイントで信号光が受光される構成である。この場合、信号光の波長間隔(例えば0.8nm等)に対して、各PDの受光感度が最大になる受光帯域(例えば1.6nm以上)が広いことが必要となる。上記のようなPDアレイモジュールとした場合には、例えば、使用チャンネル番号が3, 4, 6, 7, 9であることを示すチャンネル情報が得られると、チャンネル3, 4を受光する短波長側のPD2およびチャンネル9を受光する長波長側のPD4が選択されて、各々の電流値が読み取られる。ここでは、例えばPD2, PD4の各電流値が共に0.5mAであったとすると、それぞれの電流値を信号数で割った値、すなわち、PD2については0.5mA/2、PD4については0.5mA/1が求められ、両方の値が等しくなるように可変光等化部が調整される。

【0060】加えて、各PDが受光する信号光の範囲は、図8(C)に示すように、隣り合うPDで重複するように設定しても構わない。すなわち、各測定波長域

は、少なくとも1つの異なるチャンネル光をそれぞれ含んでいけばよい。図8(C)の場合には、例えばPD1とPD2においてチャンネル3, 4, 5が重なることになる。

【0061】次に、本発明の第3実施形態に係る光等化器について説明する。図9は、第3実施形態に適用される光パワー測定部の構成を示すブロック図である。なお、光パワー測定部を除いた他の部分の光等化器の構成は、上述の図1および図2に示した第1実施形態の場合と同様である。

【0062】図9において、本光等化器に用いられる光パワー測定部20'は、可変光フィルタとしてのチューナブル光フィルタ20G、受光部としてのフォトダイオード(PD)20Hおよび選択部としてのデータ記憶部20Iを有する。

【0063】チューナブル光フィルタ20Gは、図示しない外部からの信号により通過波長特性を変化させることのできる公知の光フィルタであって、可変光等化部1から出力されたWDM信号光の一部を分岐したモニタ入力光が入力される。このチューナブル光フィルタ20Gの通過波長特性は、その通過中心波長が、測定波長域設定部21で設定される各測定波長域を含んだ波長範囲で時間的に変化するように制御されている。PD20Hは、チューナブル光フィルタ20Gを通過した光信号を電流に変換して出力する受光素子であって、ここでは、WDM信号光の波長帯域を含んだ広い受光波長を有する1つの受光素子が用いられるものとする。データ記憶部20Iは、PD20Hから出力される電流値を、その時のチューナブル光フィルタ20Gの通過中心波長に対応させて記憶するものであって、ここでは、測定波長域設定部21から出力される制御信号に従った各測定波長域に対応するデータだけを記憶すると共に、その記憶データを演算処理部22に出力する。

【0064】上記のような光パワー測定部20'を適用した光等化器の動作を図10を用いて具体的に説明する。図10において、ステップ101～ステップ103の処理は、第1実施形態の場合と同様の処理が行われるため説明を省略する。ステップ103で目標値の演算が終了すると、ステップ201に進む。

【0065】ステップ201では、光パワー測定部20'において、PD20Hの出力電流値が、チューナブル光フィルタ20Gの通過波長特性に対応させてデータ記憶部20Iに記憶される。このときデータ記憶部20Iに記憶される電流値は、測定波長域設定部21からの制御信号によって指示される各測定波長域A, Bに含まれる各チャンネル1, 2, 3, 32にそれぞれ対応したものだけが記憶され、他のチャンネル4～31に対応する電流値は記憶されない。ここでは、例えば、チューナブル光フィルタ20Gの通過中心波長が、チャンネル1の波長に対応した時のPD20Hの出力電流値が0.5mA、

10

20

30

40

50

チャンネル 2 の波長に対応した時の電流値が 0.6 mA、チャンネル 3 の波長に対応した時の電流値が 0.7 mA、チャンネル 32 の波長に対応した時の電流値が 1.0 mA になるものとし、これらの電流値がデータ記憶部 201 に記憶されると共に演算処理部 22 に送られる。

【0066】そして、演算処理部 22 では、第 1 実施形態の場合と同様にして、ステップ 105 で各測定波長域 A、B についての光パワー比の測定値が  $A : B = 1 : 8$  と求められ、ステップ 106 で測定値が目標値と等しくなるように可変光等化部 1 の制御が行われる。

【0067】このように第 3 実施形態によれば、チューナブル光フィルタ 20G、PD 20H およびデータ記憶部 201 を用いて光パワー測定部 20' を構成するようにしても、第 1 実施形態の場合と同様の効果を得ることができる。また、チューナブル光フィルタ 20G の通過波長特性の半値幅はモニタする波長分解能に依存するが、適切な波長域を設定して光パワーの測定を行う本発明のモニタ方法では、比較的低い波長分解能でも光パワーを精度良くモニタでき、半値幅が狭い高度な光フィルタ特性を必要としないため、コスト面で有利になる。具体的には、例えば各チャンネルの波長間隔が 1 nm という狭い間隔であるシステムにおいても、本モニタ方法を用いることで、例えば 5 nm 程度の広い半値幅の通過波長特性を有したチューナブル光フィルタ 20G を適用できる。

【0068】なお、上述の第 1～3 実施形態では、各チャンネルのビットレートが同じであって、各チャンネルの光パワーがすべて同じ値となるように制御すればよい場合を示したが、各チャンネルのビットレートが異なる場合についても本発明を適用することが可能である。この場合、各チャンネルの光パワーの目標出力レベルは、それぞれのビットレートに対応して定まるため、この目標出力レベルの差を考慮して光パワー比の目標値を演算するようにする。具体的には、例えば、10 Gb/s のチャンネルの目標出力レベルが 7 dBm/ch であり、2.5 Gb/s のチャンネルの目標出力レベルが 4 dBm/ch である場合には、10 Gb/s のチャンネル光パワーに対して 2.5 Gb/s のチャンネル光パワーが 1/2 倍となるようにして演算を行う。

【0069】次に、本発明による波長間光パワー偏差のモニタ方法が適用された光増幅器について説明する。図 11 は、本発明の第 4 実施形態に係る光増幅器の構成を示すブロック図である。

【0070】図 11 において、本光増幅器は、上述の第 1～3 実施形態で示したいずれかの光等化器を公知の光増幅器に適用したものであって、例えば、実質的に 2 段構成とした光増幅部の段間に可変光減衰器 (VAT) を配置した公知の構成の光増幅器に対して、本発明によるモニタ方法を適用したモニタ部 60 と、該モニタ部 60 のモニタ結果を応じて制御される可変利得等化器 (VGEQ) 61 と、を設けたものである。

EQ) 61 と、を設けたものである。

【0071】2 段構成の光増幅部は、例えばエルビウムドープ光ファイバ増幅器 (EDFA) 等が使用され、ここでは、前段の光増幅部が 1 つの EDFA 51 を有し、後段の光増幅部が直列に接続された 2 つの EDFA 52, 52' を有するものとする。なお、後段の光増幅部を 2 段の EDFA 52, 52' で構成したが、これは光増幅器の高出力化を実現するために後段の光増幅部をさらに 2 段構成とただけであって、実質的には 1 つの EDFA と考えても構わない。

【0072】各 EDFA 51, 52, 52' それぞれは、各励起光源 51A, 52A, 52A' からの励起光の供給を受けて励起状態とされたエルビウムドープ光ファイバ (EDF) 内に、1550 nm 帯の WDM 信号光を入射させ通過させることによって、各波長の信号光を一括して増幅する。なお、各 EDFA の励起光波長は、980  $\mu$ m 帯または 1480  $\mu$ m 帯等とすることができる。

【0073】また、前段および後段の各光増幅部には、利得を一定に制御する AGC 回路 51B, 52B がそれぞれ設けられている。各 AGC 回路 51B, 52B は、該当する光増幅部への入力光及び出力光の各パワーをモニタし、その光増幅部における利得が所要の値となるように励起光パワーの自動制御を行う。

【0074】さらに、前段の EDFA 51 の出力側には、利得等化器 (GEQ) 51C が設けられる。この利得等化器 51C は、EDFA 51 の利得波長特性に対応した固定の利得等化特性を有していて、EDFA 51 において発生する光パワーのチルトの補償を行う。また、後段側の EDFA 52, 52' の間には、可変利得等化手段としての可変利得等化器 (VGEQ) 61 が設けられる。この可変利得等化器 61 は、モニタ部 60 のモニタ結果に応じて、WDM 信号光のチルトを補償する可変の利得等化特性を有するものであって、上述の各第 1～3 実施形態における光等化部 1 と同様の機能を備えたものである。なお、ここでは、可変利得等化器 61 は、EDFA 52, 52' の各利得波長特性に対応させて設計された基本的な利得等化特性を有し、その利得等化特性が、本光増幅器に接続される光伝送路等の損失波長特性によって発生する線形的なチルトの変動に応じて、変化可能となるように設計されているものとする。

【0075】モニタ部 60 は、EDFA 52' の出力光の一部を入力して、後述する監視信号処理部 54 からのチャンネル情報に従った測定波長域についての光パワーを測定してモニタ光の光パワー偏差を求め、その結果に応じて可変利得等化器 61 の利得等化特性を調整する制御信号を発生する。このモニタ部 60 は、上述の各第 1～3 実施形態におけるモニタ部 2 と同様のものである。なお、モニタ部 60 および可変利得等化器 61 の配置は、上記の位置に限定されるものではなく、可変利得等化器

61の挿入損失等を考慮し、本光増幅器の雑音特性や出力光パワーなどに対する要求に応じて、適切な位置に設けることが可能である。

【0076】前段および後段の光増幅部の段間には、可変光減衰器(VAT)53が設けられる。可変光減衰器53は、外部からの信号により光減衰量を変化させることのできる公知の光減衰器である。この可変光減衰器53の光減衰量は、ALC回路53Aから出力される信号によって制御される。ALC回路53Aは、可変光減衰器53の出力光の一部を分岐した光信号と、EDFA52'の出力光の一部を分岐し光カブラ53Bを介して送られてくる光信号とに基づいて、本光増幅器の1波長あたりの出力光パワーが一定のレベルとなるように可変光減衰器53の光減衰量を制御する信号を発生する。なお、光カブラ53Bで分岐された光信号は、AGC回路52Bにも送られると共に、出力モニタポートOUT'を介して外部にも出力される。

【0077】また、本光増幅器は、入力されるWDM信号光に含まれる監視信号の処理を行う監視信号処理部54を有する。この監視信号処理部54は、入力ポートINと前段の光増幅部の間に挿入されたWDMカブラ54AによってWDM信号光から分波された監視信号光を入力し、該監視信号光を基にWDM信号光についてのチャンネル情報等を得るものであって、上述の各第1～3実施形態における監視信号処理3と同様の機能を備えるものである。ここでは、得られたチャンネル情報がモニタ部60およびALC回路53Aに送られる。また、監視信号処理部54に入力された監視信号光は、後段の光増幅部と出力ポートOUTの間に挿入されたWDMカブラ54Bを介してWDM信号光に合波されて本光増幅器から出力される。

【0078】さらに、ここでは本光増幅器に接続される光伝送路等で生じる波長分散を補償するための分散補償ファイバ(DCF)55が、例えば可変光減衰器53とEDFA52の間に接続されている。なお、この分散補償ファイバ55は、分散補償の必要性に応じて設けられよい。

【0079】次に、上記のような構成を有する光増幅器の動作について説明する。本光増幅器では、入力ポートINに入力されたWDM信号光が、EDFA51に送られると共に、その一部が分岐されAGC回路51Bに送られる。また、入力光に含まれる監視信号光がWDMカブラ54Aによって分波され監視信号処理部54に伝えられる。

【0080】EDFA51では、励起光源51Aからの励起光の供給を受けて各波長の信号光が一括して増幅される。そして、EDFA51の出力光は、利得等化器51C、可変光減衰器53および分散補償ファイバ55を介して後段側のEDFA52に送られると共に、その一部が分岐されてAGC回路51Bに送られる。AGC回

路51Bでは、EDFA51への入力光パワーおよびEDFA51からの出力光パワーをモニタして、EDFA51が利得一定で動作するように励起光源51Aの動作が制御される。

【0081】また、チャンネル情報取得手段としての監視信号処理部54では、WDMカブラ54Aで分波された監視信号光を基に、本光増幅器に入力されたWDM信号光についてのチャンネル情報の識別が行われる。識別されたチャンネル情報はモニタ部60に送られると共に、WDM信号光のチャンネル数がALC回路53Aに伝えられる。

【0082】EDFA52に送られたWDM信号光は、AGC回路52Aの制御下で一括増幅された後に、可変利得等化器60において利得等化され、さらに、EDFA52'に送られてAGC回路52A'の制御下で一括増幅される。このときの可変利得等化器60の利得等化特性は、モニタ部60から出力される制御信号に従って制御されており、この利得等化特性の制御動作は、上述の各実施形態における可変光等化部1の制御動作と同様のものである。すなわち、上述の図5などに示したモニタ方法と同様に、各測定波長域についての光パワー比の目標値および測定値がモニタ部60でそれぞれ求められ、その測定値が目標値に等しくなるように可変利得等化器60の利得等化特性が制御される。

【0083】さらに、本光増幅器では、EDFA52'の出力光の一部及び可変光減衰器53の出力光の一部がそれぞれ分岐されてALC回路53Aに送られ、可変光減衰器53の光減衰量がALC回路53Aによって制御される。これにより、1波長あたりの出力光パワーが一定に制御されたWDM信号光が出力ポートOUTを介して外部に出力されるようになる。

【0084】このように第4実施形態によれば、本発明に係るモニタ方法を適用したモニタ部60および可変利得等化器61を光増幅器内に設けたことで、高い波長分解能を必要としない簡易な構成のモニタ部60により信号光のパワーを直接測定しながら高精度でチルトをモニタできるようになる。これにより、小型でかつ低価格のチルト補償機能付きの光増幅器を提供することができる。

【0085】なお、上記の第4実施形態では、可変利得等化器61が後段の光増幅部および光伝送路等で発生するチルトに対応した利得等化特性を有するものとして説明したが、このような可変の利得等化特性を1つの光等化器で実現するのが困難な場合には、例えば図12に示すように、利得等化特性が固定の利得等化器(GEQ)61'と可変利得等化器(VGEQ)61''とを組み合わせるようにしてもよい。この場合、固定の利得等化器61'の利得等化特性については、EDFA52、52'の複雑な利得波長特性に対応させて設計し、可変利得等化器61''の利得波長特性については、光伝送路等

で発生する線形的なチルトに対応させて設計することが可能である。

【0086】次に、本発明の第5実施形態に係る光増幅器について説明する。図13は、第5実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。図13において、本光増幅器は、前述の図12に示した第4実施形態の構成について、前段側のEDFA51で発生するチルトを補償する固定の利得等化器51Cに代えて、可変利得等化器(VGEQ)63を設けると共に、該可変利得等化器63の利得等化特性を制御する、本発明のモニタ方法を

用いたモニタ部62を設けたものである。

【0087】可変利得等化器63は、EDFA51の利得波長特性に対応させて設計された基本的な利得等化特性を有し、その利得等化特性が、本光増幅器に接続される光伝送路等の損失波長特性によって発生する線形的なチルトの変動に応じて、変化可能となるように設計されているものとする。

【0088】モニタ部62は、可変利得等化器63の出力光の一部を入力して、監視信号処理部54からのチャネル情報に従った測定波長域についての光パワーを測定してモニタ光の光パワー偏差を求め、その結果に応じて可変利得等化器63の利得等化特性を調整する制御信号を発生する。

【0089】かかる構成の光増幅器では、入力ポートINに入力されたWDM信号光が、EDFA51に送られて一括増幅された後に、可変利得等化器63により利得等化される。このときの可変利得等化器63の利得等化特性は、モニタ部62から出力される制御信号に従って制御されている。モニタ部62においては、前述した後段側のモニタ部60の動作と同様に、監視信号処理部54からのチャネル情報に応じて各測定波長域についての光パワー比の目標値および測定値がそれぞれ求められ、その測定値が目標値に等しくなるように可変利得等化器63の利得等化特性が制御される。可変利得等化器63を通過したWDM信号光は、可変光減衰器53および分散補償ファイバ55を介して後段の光増幅部に送られ、前述した第4実施形態の場合と同様の動作が行われる。

【0090】このように第5実施形態によれば、前段の光増幅部についても本発明のモニタ方法を適用したモニタ部62および可変利得等化器63を設けるようにしたことで、WDM信号光の利得等化がより確実に行われる光増幅器を提供することが可能になる。

【0091】なお、上記の第5実施形態では、可変利得等化器63が前段の光増幅部および光伝送路等で発生するチルトに対応した利得等化特性を有するものとして説明したが、このような可変の利得等化特性を1つの光等化器で実現するのが困難な場合には、図14に示すように、EDFA51の複雑な利得波長特性に対応させて設計した固定の利得等化特性を有する利得等化器(GEQ)63'と、光伝送路等で発生する線形的なチルトに

対応させて設計した可変の利得等化特性を有する利得等化器(VGEQ)63"とを組み合わせるようにしてもよい。なお、図14には、後段側についても固定および可変の利得等化器を組み合わせただけの場合の一例が示してある。もちろん、前段側および後段側のいずれかのみを組み合わせによる利得等化器としても構わない。

【0092】次に、本発明の第6実施形態に係る光増幅器について説明する。第6実施形態では、超広帯域な大容量増幅中継伝送を実現できる手段として有力視されている、光増幅帯域の異なる2種類以上の光増幅部が並列に接続された公知の光増幅器に対して、本発明のモニタ方法を適用して利得等化を行う場合を考える。

【0093】図15は、第6実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。図15において、本光増幅器は、例えば、入力されるWDM信号光を1530~1570nm(以下、1550nm帯とする)および1570~1610nm(以下、1580nm帯とする)の2つの増幅波長帯に分波する分波手段としての分波カプラ70と、該分波カプラ70で分波された1550nm帯の信号光を増幅する1550nm帯用光増幅部71と、分波カプラ70で分波された1580nm帯の信号光を増幅する1580nm帯用光増幅部72と、各光増幅部71、72から出力される信号光を合波する合波手段としての合波カプラ73と、を有する公知の構成に対して、各光増幅部71、72への入力光の一部がそれぞれ入力される入力モニタ部80と、分波カプラ70の入力側前段に挿入され、入力モニタ部80からの制御信号に従って可変の利得等化特性が調整される可変利得等化手段としての可変光等化器81と、を設けたものである。

なお、ここでは、1550nm帯用光増幅部71および1580nm帯用光増幅部72が光増幅手段に相当し、入力モニタ部80が入力パワー測定手段および制御手段として機能する。

【0094】1550nm帯用光増幅部71としては、1550nm帯に増幅帯域を有するエルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)等の一般的な光増幅器を用いることが可能である。また、1580nm帯用光増幅部72としては、例えば、1550nm帯用EDFAのエルビウムドープ光ファイバ長を長くするなどして、1580nm帯で光増幅作用が生じるようにした光増幅器などを用いることが可能である。

【0095】入力モニタ部80は、1550nm帯用光増幅部71への入力光の一部を分岐したモニタ光を受光して、1550nm帯WDM信号光のトータル入力パワーをモニタすると共に、1580nm帯用光増幅部72への入力光の一部を分岐したモニタ光を受光して、1580nm帯WDM信号光のトータル入力パワーをモニタする機能を備える。なお、このトータル入力パワーのモニタ機能は、各光増幅部71、72に具備された入力モニタ機能(例えば、AGCのための入力モニタ機能な

ど)を併用して、構成の簡略化を図ることが可能である。また、入力モニタ部80は、各光増幅部71、72内に設けられた図示しない監視信号処理部などによって識別されたチャンネル情報に応じて、各光増幅部71、72についてのトータル入力パワーの比の目標値を算出して、この目標値と実際に測定した測定値とが等しくなるように、可変利得等化器81の利得等化特性を調整する制御信号を出力する。

【0096】可変利得等化器81は、本光増幅器に接続される光伝送路等の損失波長特性に対応させて設計された可変の利得等化特性を有するものであって、上述の各第1～3実施形態における光等化部1と同様の機能を備えたものである。

【0097】次に、上記のような構成の光増幅器の動作を図16を用いて具体的に説明する。本光増幅器では、まず、図16のフローチャートのステップ301において、監視信号光により伝達されるチャンネル情報の識別が行われ、該チャンネル情報が入力モニタ部80に伝えられる。ここでは、チャンネル情報の具体的な一例として、WDM信号光に含まれる各チャンネルの番号が1、2、3、2、35、64であり、各チャンネル光のビットレートがそれぞれ10Gb/sである場合を想定して、以下の説明を行うものとする。なお、チャンネル1～32は1550nm帯に所定の波長間隔で配置され、チャンネル33～64は1580nm帯に所定の波長間隔で配置されている。

【0098】ステップ302では、入力モニタ部81において、チャンネル情報を基に各光増幅部71、72についてのトータル入力パワー比の目標値が求められる。ここでは、1550nm帯に3つのチャンネルが含まれ、1580nm帯には2つのチャンネルが含まれるため、目標値となるトータル入力パワー比は、1550nm帯：1580nm帯＝3：2となる。

【0099】目標値の演算が終了するか、または、目標値の演算と並行して、ステップ303では、入力モニタ部80において各光増幅部へのトータル入力パワーが実際に測定されて、各光増幅部71、72についてのトータル入力パワー比の測定値が求められる。ここでは、例えば、各光増幅部71、72へのトータル入力パワーに対応する受光電流値が共に3mAであったとすると、トータル入力パワー比の測定値は、1550nm帯：1580nm帯＝1：1となる。

【0100】測定値の演算が終了すると、ステップ304に進み、各光増幅部71、72のトータル入力パワー比の測定値が目標値と等しくなるように、可変利得等化器81の利得等化特性を調整する制御信号が入力モニタ部80で生成され可変利得等化器81に送られる。これにより、本光増幅器に接続される光伝送路等で発生するチルトが確実に等化され、各チャンネルについて光パワーの揃ったWDM信号光が分波カプラ70を介して各波長

帯の光増幅部71、72に入力されるようになる。そして、各光増幅部71、72において増幅された各々の信号光は、合波カプラ73で合波されて、本光増幅器の外部に出力される。

【0101】このように第6実施形態によれば、光増幅帯域の異なる2種類の光増幅部を並列に接続した光増幅器に対して、各光増幅部のトータル入力パワーをモニタする入力モニタ部80を設け、該入力モニタ部80で求めた各光増幅部のトータル入力パワー比の測定値が目標値と等しくなるように、本光増幅器の入力端に設けた可変利得等化器81の利得等化特性を制御するようにしたことで、各光増幅部に入力される信号光のチルトを簡易なモニタ方法を用いて確実に補償することができる。特に、広い波長帯域のWDM信号光を増幅する場合において、誘導ラマン散乱効果等により発生する光伝送路の損失波長特性を光増幅器の入力側で低減しておくことは、雑音指数の改善という観点からも有用である。

【0102】なお、上記の第6実施形態では、各チャンネルのビットレートが同じである場合を示したが、各チャンネルのビットレートが異なる場合についても本発明を適用することが可能である。具体的には、図17に示すように、ステップ301で得られるチャンネル情報が、例えば、チャンネル1、3、35、64の各ビットレートについて10Gb/s（目標出力レベル；7dBm/c h）を示し、チャンネル32のビットレートについて2.5Gb/s（目標出力レベル；4dBm/c h）を示す場合には、10Gb/sのチャンネル光パワーに対する2.5Gb/sのチャンネル光パワーが1/2倍となるため、ステップ302で求められる各光増幅器についてのトータル入力パワー比の目標値は、1550nm帯：1580nm帯＝2.5：2＝1.25：1となる。

【0103】また、各チャンネルのビットレートが同一であって目標出力レベルが同じである場合においては、チャンネル情報の簡易化を図ることも可能である。すなわち、1550nm帯についてのチャンネル数および1580nm帯についてのチャンネル数をチャンネル情報が含んでいれば十分とすることができる。この場合には、例えば図18に示すように、ステップ401で得られる各波長帯のチャンネル数と、ステップ402で測定される各光増幅部についてのトータル入力パワーとを用い、ステップ403において各光増幅部の平均入力パワーの比を求め、該平均入力パワーの比が1550nm帯：1580nm帯＝1：1になるように、ステップ404で可変利得等化器81の利得等化特性を制御すればよい。

【0104】さらに、上述の第6実施形態では、1550nm帯および1580nm帯の2つの光増幅部を並列に設けた場合について説明したが、本発明はこれに限らず、増幅帯域の異なる3種類以上の光増幅部を並列に接続した光増幅器に対しても、上述の場合と同様にして応用することが可能である。

## 【0105】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長間光パワー偏差のモニタ方法は、WDM信号光についてのチャンネル情報を基に、測定に適した少なくとも2つの測定波長域を設定し、該各測定波長域に限ってチャンネル光パワーを測定して波長間光パワー偏差を判断するようにしたことで、比較的低い波長分解能によっても高い精度でWDM信号光パワーの波長特性をモニタすることができ、また、WDM信号光の等化处理のフィードバック制御を行う光等化器および光増幅器に本発明のモニタ方法を適用することで、各機器の小型化および低価格化を図ることが可能になる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る光等化器の構成を示すブロック図である。

【図2】同上第1実施形態におけるモニタ部の構成例を示すブロック図である。

【図3】同上第1実施形態における光パワー測定部の具体例を示す図である。

【図4】同上第1実施形態におけるPDアレイモジュールの各PDの相対的な出力特性を模式的に示した図である。

【図5】同上第1実施形態の動作を説明するフローチャートである。

【図6】本発明の第2実施形態におけるPDアレイモジュールの各PDの相対的な出力特性を模式的に示した図である。

【図7】同上第2実施形態の動作を説明するフローチャートである。

【図8】同上第2実施形態に関連する他の構成のPDアレイモジュールについて、各PDの相対的な出力特性を模式的に示した図である。

【図9】本発明の第3実施形態における光パワー測定部の具体例を示すブロック図である。

【図10】同上第3実施形態の動作を説明するフローチャートである。

【図11】本発明の第4実施形態に係る光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図12】同上第4実施形態に関連して、固定および可

変の利得等化器を組み合わせる用いた場合の構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第5実施形態に係る光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図14】同上第5実施形態に関連して、固定および可変の利得等化器を組み合わせる用いた場合の構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の第6実施形態に係る光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図16】同上第6実施形態の動作を説明するフローチャートである。

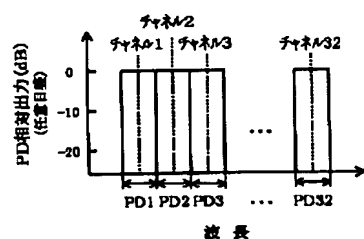
【図17】同上第6実施形態に関連して、各チャンネルのビットレートが異なる場合の動作を説明するフローチャートである。

【図18】同上第6実施形態に関連して、各チャンネルのビットレートが同じ場合にチャンネル情報の簡易化を図ったときの動作を説明するフローチャートである。

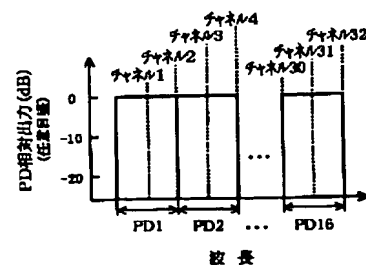
## 【符号の説明】

- 1…可変光等化部
- 2…モニタ部
- 3…監視信号処理部
- 20, 20'…光パワー測定部
- 20C…回折格子
- 20F…PDアレイモジュール
- 20G…チューナブル光フィルタ
- 20H…受光素子(PD)
- 20I…データ記憶部
- 21…測定波長域設定部
- 22…演算処理部
- 51, 52, 52'…光増幅部(EDFA)
- 54…監視信号処理部
- 60, 62…モニタ部
- 61, 63, 81…可変利得等化器(VGEQ)
- 70…分波コブラ
- 71…1550nm帯用光増幅部
- 72…1580nm帯用光増幅部
- 73…合波コブラ
- 80…入力モニタ部

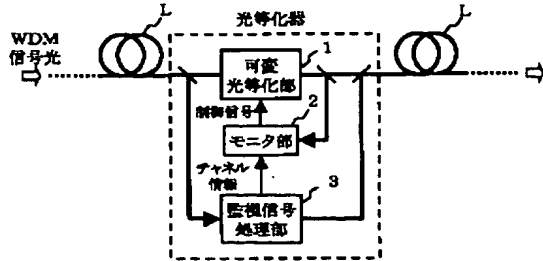
【図4】



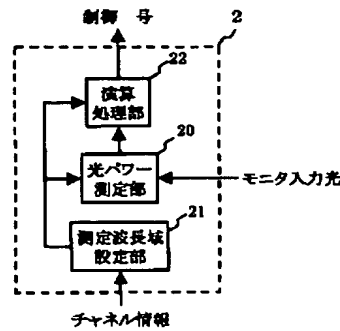
【図6】



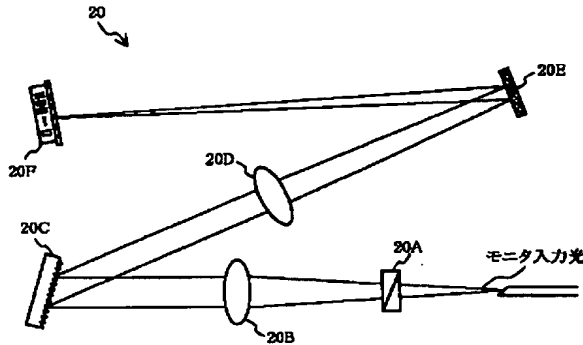
【図1】



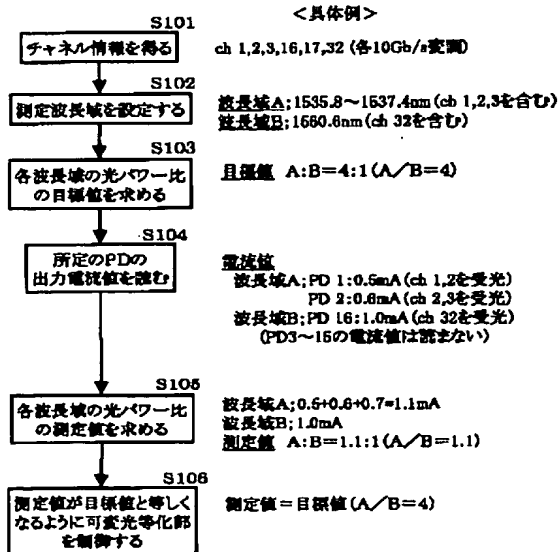
【図2】



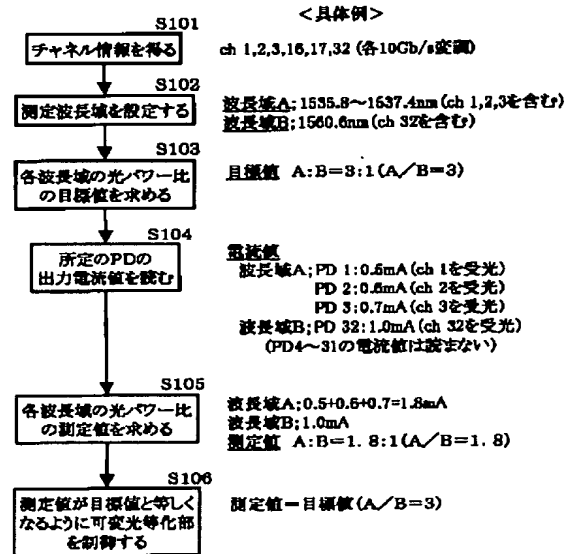
【図3】



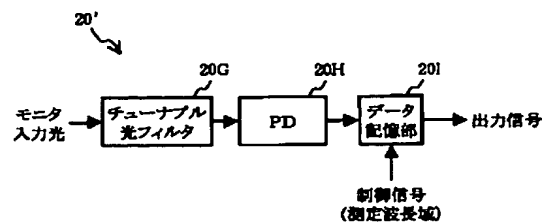
【図7】



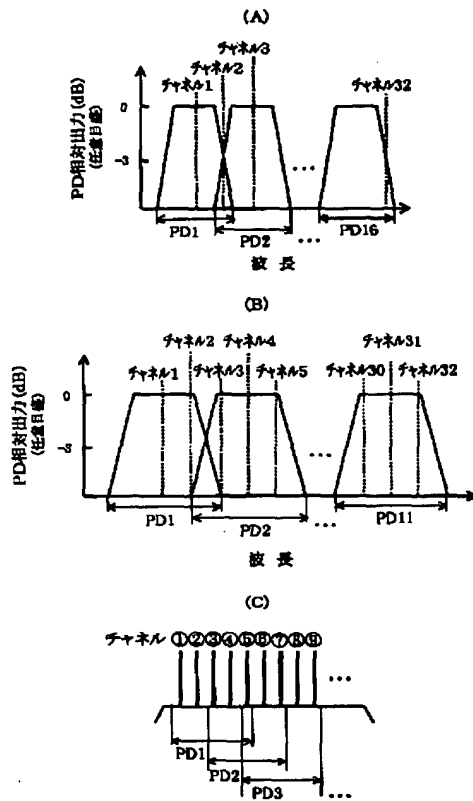
【図5】



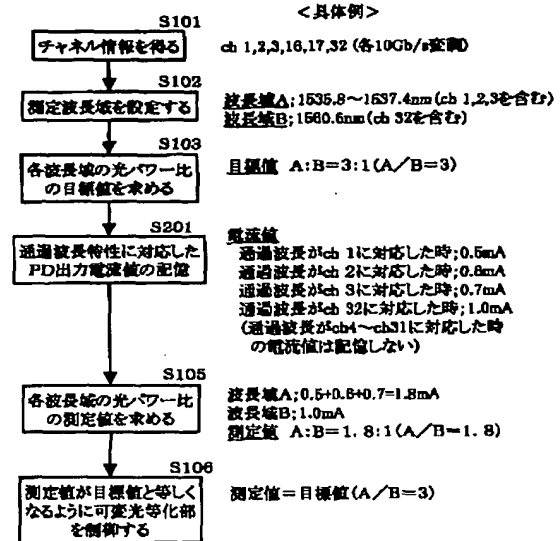
【図9】



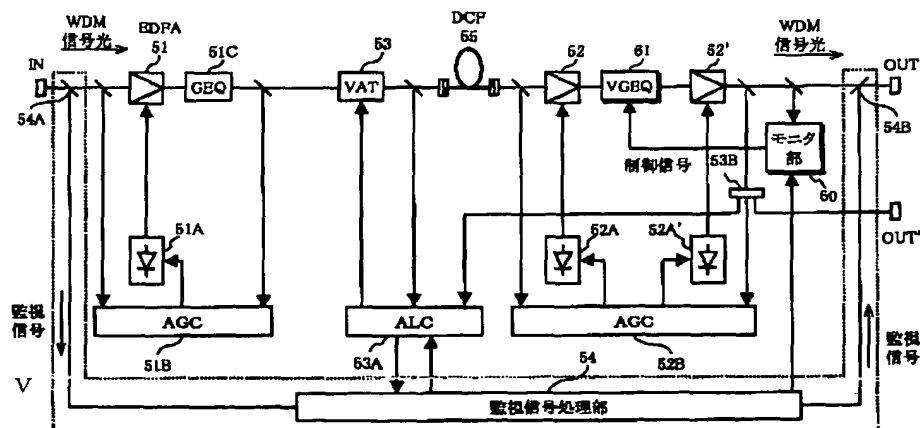
【図 8】



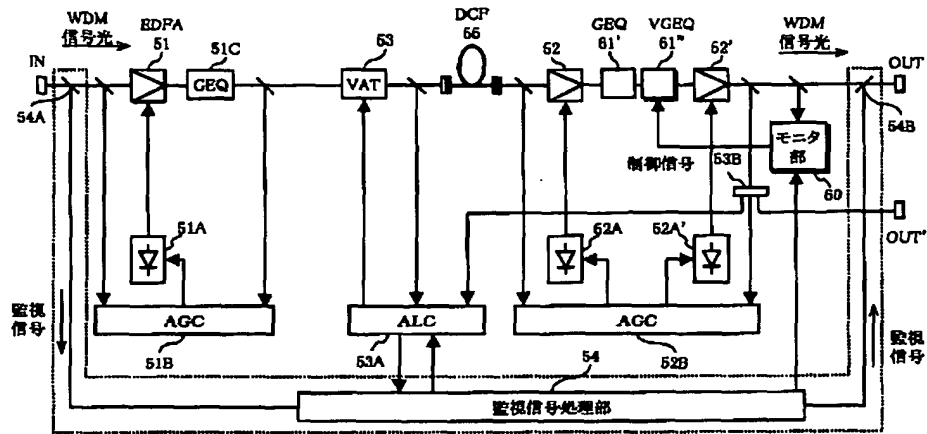
【図 10】



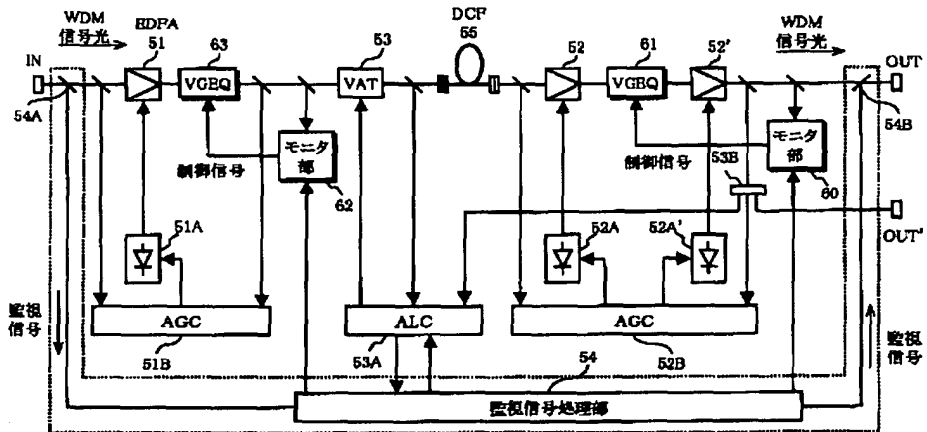
【図 11】



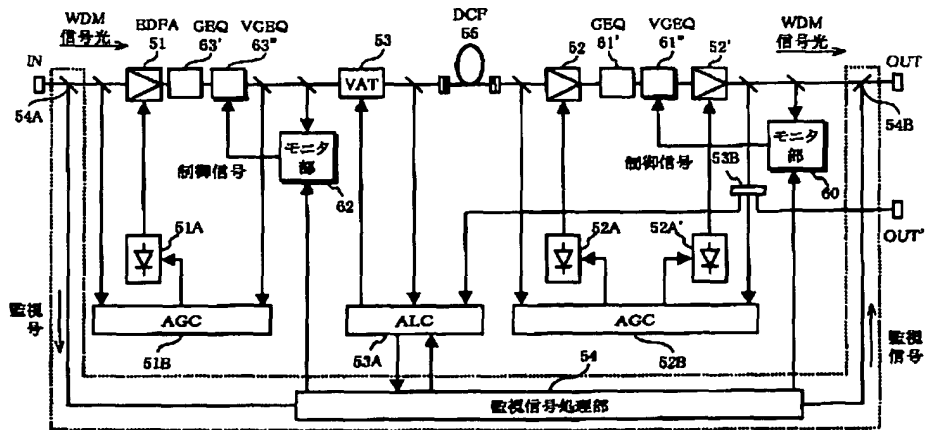
【図 12】



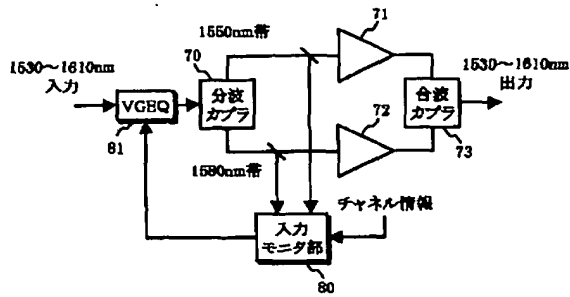
【図 13】



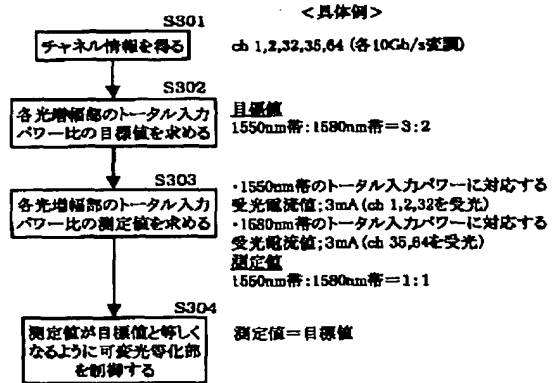
【図 14】



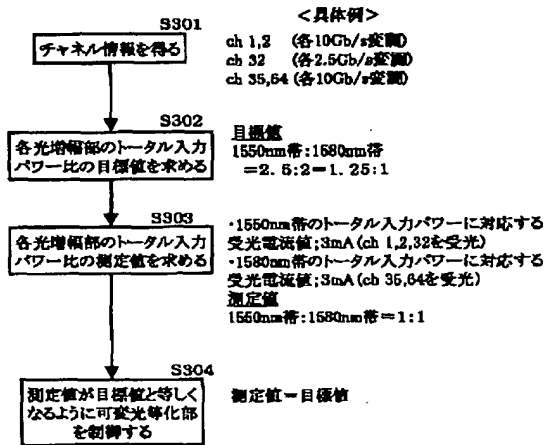
【図 15】



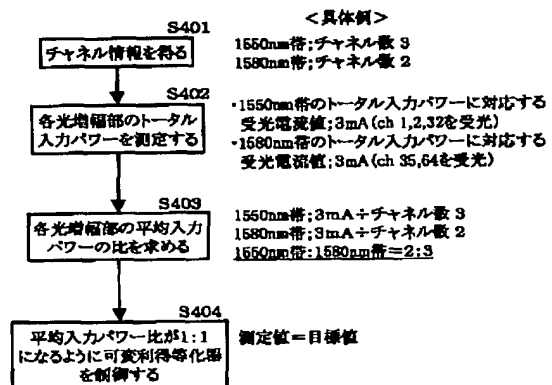
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
H04B 10/04

識別記号

F I

テーマコード(参考)

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 HH03 JJ05  
KK30 RR01 YY17  
5K002 AA06 BA02 BA04 CA10 CA13  
DA02 EA05 GA01